

WYBRANE METODY POMIARU TEMPERATURY PLAZMY W REAKTORACH TYPU JET

Piotr Terebun, Piotr Krupski, Michał Kwiatkowski, Radosław Samoń,
Jarosław Diatczyk, Joanna Pawłat, Henryka Stryczewska

Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii

Streszczenie. Z punktu widzenia fizyki plazmy, temperatura jest niezwykle ważnym parametrem określającym rodzaj i energię cząstek plazmy, a tym samym jej właściwości chemiczne i elektryczne. Ma to szczególne znaczenie w przypadku reaktorów typu jet, których obszar zastosowań w biotechnologii i medycynie ograniczony jest min. maksymalnymi dopuszczalnymi temperaturami gazu wylotowego. Praca przedstawia wybrane metody pomiaru temperatury plazmy nierównowagowej wytwarzanej w reaktorach typu jet. Ze względu na rodzaj i cel pomiaru, jako szczególnie przydatne metody opisano: termopary (temperatura gazu), sondy elektrostatyczne (temperatura elektronów) oraz metody spektroskopowe (temperatura wzbudzenia atomów i jonów).

Słowa kluczowe: plazma nierównowagowa, reaktory plazmowe typu jet, temperatura plazmy

SELECTED METHODS OF TEMPERATURE MEASUREMENTS OF PLASMA IN PLASMA JET REACTORS

Abstract. In plasma physics, the temperature is an extremely important parameter which determinates the type and energy of plasma particles, and thus their chemical and electrical properties. This is particularly important in biotechnology and medicine, where use of plasma jet reactor is limited by maximum permitted temperature of exhaust gas. The article presents selected methods of temperature measuring in non-equilibrium plasma produced in jet reactors. Due to the nature and purpose of measurement, as a particularly useful methods were described: thermocouple (the gas temperature), electrostatic probe (electron temperature) and spectroscopic methods (temperature excitation of atoms and ions).

Keywords: non-equilibrium plasma, plasma jet, plasma temperature

Wstęp

Jednym z najważniejszych obszarów zastosowania technologii plazmowych w technice jest wykorzystanie plazmy nierównowagowej w inżynierii środowiska i medycynie [6, 7, 10-14, 16]. Jako plazmę nierównowagową rozumie się plazmę, w której energie elektronów są znacznie większe niż energie pozostałych cząstek (jonów i cząstek neutralnych), dzięki czemu możliwe jest przeprowadzenie reakcji biochemicznych przy stosunkowo niewysokiej temperaturze gazu roboczego. Jest to szczególnie ważne w przypadku zastosowań, w których wysoka temperatura może mieć niepożądane, niszczące właściwości dla poddawanych obróbce plazmowej materiałów, takich jak np. tkanka ludzka w zastosowaniach medycznych. W projektowaniu reaktorów plazmowych dla tych zastosowań dąży się więc do takiego doboru składu chemicznego gazu roboczego, ciśnienia i geometrii wyladowania, które umożliwiałyby inicjację pożądaných reakcji chemicznych przez wysokoenergetyczne elektrony, przy jednoczesnym zachowaniu bezpiecznej średniej temperatury plazmy. Niezbędny element projektowania stanowi dobranie odpowiednich urządzeń diagnostycznych, pozwalających na pomiar temperatury poszczególnych cząstek wchodzących w skład badanej plazmy.

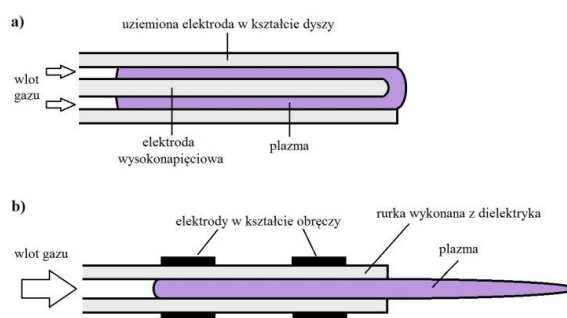
1. Pomiary temperatury plazmy w reaktorach typu jet

1.1. Reaktory typu jet

Przykładem reaktorów plazmowych do zastosowań medycznych są reaktory typu jet [10-12, 16], będące obiektem badań w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii. Reaktory takie posiadają budowę dyszy, wewnątrz której generowana jest plazma. Dzięki wymuszonemu przepływowi gazu, plazma jest transportowana na zewnątrz dyszy, np. w kierunku tkanki ludzkiej. Poszczególne rodzaje reaktorów różnią się głównie konfiguracją elektrod, rodzajem przepuszczanego gazu oraz częstotliwością zasilania, w zakresie od kilku kHz do GHz. Przedmiotem badań były dwa typy reaktorów, wykorzystujące jako gaz roboczy hel, tlen i argon:

1. Reaktor RF (z ang. *Radio Frequency*), pracujący przy napięciu o częstotliwości radiowej 14,24 MHz, z umieszczoną w środku elektrodą wysokonapięciową (rys. 1a).

2. Reaktor DBD (z ang. *Dielectric Barrier Discharges*) o częstotliwości zasilania 19,7 kHz, wykorzystujący w działaniu wyladowanie z barierą dielektryczną (rys. 1b).



Rys. 1. Budowa reaktorów plazmowych typu jet będących obiektem badań: a) reaktor RF z elektrodą wysokonapięciową wewnątrz dyszy, b) reaktor DBD z wyladowaniem barierowym

Oba reaktory należą do reaktorów pracujących pod ciśnieniem atmosferycznym APPJs (z ang. *atmospheric-pressure plasma jets*), które ze względu na stosunkowo małe wymiary, lekkość i elastyczność pozwalają na swobodne operacje na małych obiektach. Operacje na większych obiektach umożliwiają użycie układu dysz, np. w strukturze klastra miodu [5]. Ze względu na wzajemne oddziaływanie plazmy z poszczególnymi dysz, poprzez regulację przepływu gazu można uzyskać wiązkę skoncentrowaną bądź rozproszoną. W zależności od zastosowanego układu i prędkości przepływu gazu, można uzyskać zarówno bezpieczne temperatury poniżej 38°C, jak i znacznie je przewyższające [5, 11].

Jako najbardziej popularne zastosowania reaktorów typu jet wymienia się leczenie trudno gojących się ran poprzez selektywne usunięcie drobnoustrojów przy jednoczesnej stymulacji regeneracji tkanki, operacje na komórkach czy stomatologię (np. wybielanie zębów) [10-12, 16].

W przypadku pomiarów temperatury cząstek plazmy w reaktorach typu jet, w literaturze spotkać się można z wykorzystaniem typowych narzędzi stosowanych w diagnostyce plazmy, do których należą sondy termoelektryczne, sondy elektrostatyczne oraz metody spektroskopowe [4, 5, 7, 8]. Przy pomiarach należy uwzględnić jednak specyficzne dla tych reaktorów zjawiska, związane z nielaminarnym przepływem gazu poddanego obróbce plazmowej.

1.2. Temperatura plazmy

Pojęcie temperatury może być stosowane tylko tam, gdzie rozkład energii kinetycznych cząstek tworzących dany układ może być opisany rozkładem Maxwella. W plazmie w stanie równowagi termodynamicznej energia jest równomiernie rozłożona na wszystkie stopnie swobody cząstek, rozkład ich energii jest opisany równaniem Maxwella, a ich średnia energia kinetyczna jest sobie równa. Stan taki uzyskiwany jest bardzo rzadko, gdyż wyklucza jakiegokolwiek ruch skierowany cząstek, który może być wywołany np. poprzez pojawienie się zewnętrznego pola elektrycznego. Dużo częściej mamy do czynienia z plazmą w stanie częściowej (lokalnej) równowagi termodynamicznej. W tym stanie, pod wpływem np. przyłożonego napięcia, elektrony uzyskują energie znacznie większe od energii jonów i cząstek neutralnych. Ponieważ wymiana energii między elektronami a jonami zachodzi o wiele wolniej niż między cząstkami o zbliżonych masach, w niezbyt gęstej plazmie może przez długi czas utrzymywać się stan, w którym ustalą się maxwellowskie rozkłady prędkości dla elektronów i jonów osobno, przy czym wartości średnie obu rozkładów nie są sobie równe. Możliwy jest więc pomiar kilku wielkości związanych z pojęciem temperatury: temperatury elektronów, temperatury wzbudzenia jonów i średniej temperatury gazu. W związku z odmiennymi właściwościami każdej z wymienionych cząstek, do wyznaczenia ich temperatury stosuje się różne metody pomiaru [3, 8, 15].

1.3. Wyznaczanie średniej temperatury gazu za pomocą sond termoelektrycznych

W przypadku średniej temperatury plazmy, do jej wyznaczenia mogą być użyte metody stosowane do pomiaru temperatury gazów niejonizowanych. Jedną z najczęściej pojawiających się w literaturze metod jest zastosowanie sond termoelektrycznych, cechujących się stosunkowo prostą konstrukcją i interpretacją wyników.

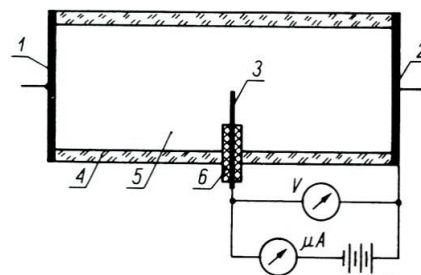
W wielu zastosowaniach plazmowych wymagana jest wysoka temperatura plazmy, znacznie przekraczająca zakresy popularnych typów termopar, takich jak termopara typu K pracująca w zakresie od 0°C do 1000°C [17]. Na prace w wysokich temperaturach pozwala zastosowanie stopów zawierających ren. Jako szczególnie przydatne wymieniane są termopary wykonane ze stopów wolframu z renem, które pozwalają na pomiar temperatury do 3373°C. W przypadku bardzo wysokich temperatur (bliskich lub większych od dopuszczalnych dla danego typu termopary), jedną z wykorzystywanych metod jest zastosowanie tzw. termopar dynamicznych. Metoda ta polega na ograniczeniu czasu pomiaru do ułamków sekundy i szybkiej rejestracji wskazań „wstrzykiwanej” termopary, nim ulegnie ona stopieniu [2].

Przy pomiarach temperatury plazmy w reaktorach typu jet, w których mogą występować duże prędkości strumienia plazmy, należy dodatkowo uwzględnić efekt składowej dynamicznej temperatury [2].

Ze względu na obecność ładunków elektrycznych w plazmie, dodatkowym problemem jest pojawienie się iskrzenia w przypadku nieizolowanej termopary. Jako materiał izolacyjny spoiny pomiarowej wymienia się żywicę epoksydową lub materiały termokurczliwe [7]. Pamiętać jednak należy o tym, że każda dodatkowa osłona termopary zwiększa czas opóźnienia odpowiedzi na skok temperatury [7, 9].

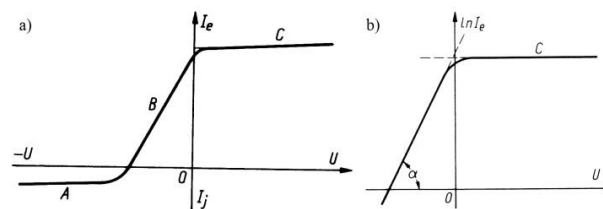
1.4. Zastosowanie sond elektrostatycznych do wyznaczania temperatury elektronów

Stykową metodą wykorzystywaną do pomiaru temperatury, gęstości i energetycznego widma elektronów plazmy jest zastosowanie sond elektrycznych. Pierwszym typem sondy, stosowanej już latach 20 ubiegłego wieku, była sonda Langmuira. Metoda ta polega na wprowadzeniu do wnętrza plazmy sondy w postaci metalowej elektrody, a następnie przeprowadzeniu pomiaru prądu przepływającego przez elektrodę dla różnych wartości przyłożonego napięcia (rys. 2) [1].



Rys. 2. Schemat połączenia sondy Langmuira: 1, 2 – elektrody, 3 – sonda, 4 – ścianka izolacyjna komory z plazmą, 5 – plazma, 6 – rurka izolacyjna sondy [1]

W wyniku pomiaru otrzymuje się charakterystykę prądowo-napięciową, zwaną sondową charakterystyką plazmy, której przykład pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Typowy przebieg charakterystyki wyznaczonej za pomocą sondy Langmuira: I_e – prąd elektronowy, I_j – prąd jonowy [1]

Zwiększając stopniowo napięcie U przyłożone do sondy (od wartości ujemnych), przechodzi się kolejno poprzez trzy obszary charakterystyki:

- część A – prąd płynący z plazmy przez sondę jest tworzony przez strumień dodatnich jonów;
- część B – przy zwiększeniu napięcia coraz więcej elektronów ma wystarczającą dużą energię kinetyczną, aby móc pokonać odpychający potencjał i dotrzeć do sondy;
- część C – znika potencjał hamujący elektrony na ich drodze ku elektrodzie i charakterystyka spłaszcza się.

Przedstawiając część B w skali półlogarytmicznej (rys. 3b), na podstawie kąta nachylenia α , możliwe jest wyznaczenie szukanej temperatury elektronów korzystając z równania (1) [1].

$$T_e = \frac{e \cdot U}{k \cdot \tan \alpha} \quad (1)$$

gdzie: k – stała Boltzmanna.

1.5. Wyznaczanie temperatury wzbudzenia za pomocą metod spektroskopowych

Ze względu na niewprowadzanie zakłóceń do plazmy podczas pomiaru, do najczęściej używanych metod diagnostyki plazmy należy spektrometria. Metody spektralne pozwalają określić niektóre właściwości plazmy, takie jak jej skład, koncentracja i temperatura elektronów, gęstość i temperatury innych składników, a nawet wartości pól magnetycznych i elektrycznych, na podstawie szczegółowej analizy składu i charakteru emitowanego przez plazmę promieniowania elektromagnetycznego, głównie w zakresach światła widzialnego i nadfioletowego.

W układach optycznych spektrometrów widmo promieniowania zostaje rozszczepione na poszczególne linie widmowe o określonych długościach fal, przy jednoczesnej rejestracji ich intensywności. W pomiarach spektralnych wykorzystuje się wiele specjalnych efektów, takich jak efekty: Ramana, Zeemana, Starka, Doplera [2, 4].

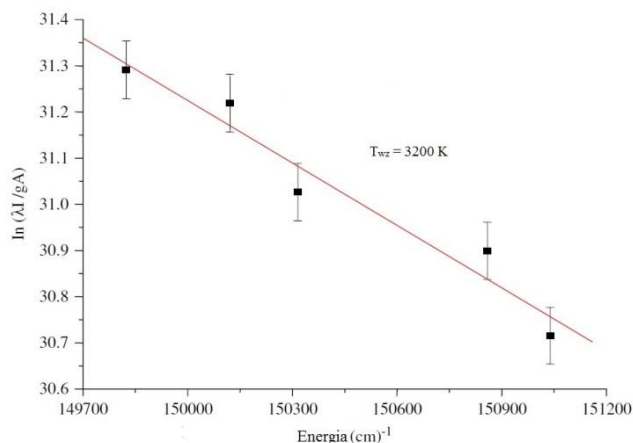
Bardzo często wykorzystywaną metodą jest wyznaczenie tzw. grafiki Boltzmanna, która polega na wyznaczeniu kąta nachylenia prostej o równaniu:

$$\ln \left(\frac{I_{ki} \cdot \lambda_{ki}}{A_{ki} \cdot g_{ki}} \right) = - \frac{E_{ki}}{k \cdot T_{wz}} \quad (2)$$

gdzie: I_{ki} – intensywność linii, λ_{ki} – długość linii, A_{ki} – prawdopodobieństwo przejścia do wyższego poziomu

energetycznego dla danej linii, g_k – waga statystyczna dla wyższego poziomu energetycznego, E_k – energia dla wyższego poziomu energetycznego [8].

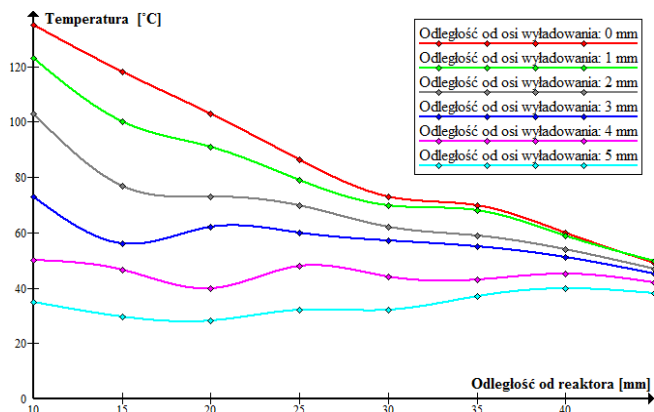
Na podstawie zmierzonych wartości intensywności dla danych długości fali oraz danych tablicowych, nachylenie prostej przechodzącej przez wyznaczone punkty w funkcji energii wyznacza średnią temperaturę wzbudzenia cząstek plazmy. Przykładowe wyniki przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Przykładowy grafik Boltzmanna (opracowano na podstawie [8])

2. Wyniki eksperymentalne otrzymane dla pomiarów temperatury gazu w reaktorach dla reaktora RF

Do pomiarów temperatury badanych reaktorów wykorzystano termoparę typu K, współpracującą z multimetrem cyfrowym wyposażonym w elektroniczną kompensację temperatury wolnych końców. Pomiary wykonano dla odległości spodziewanej pracy reaktorów, w których zjawisko iskrzenia nie występuje, dlatego zdecydowano się na brak dodatkowej izolacji termopary. Przykładowe wyniki pomiarów dla reaktora RF przedstawia rys. 5.



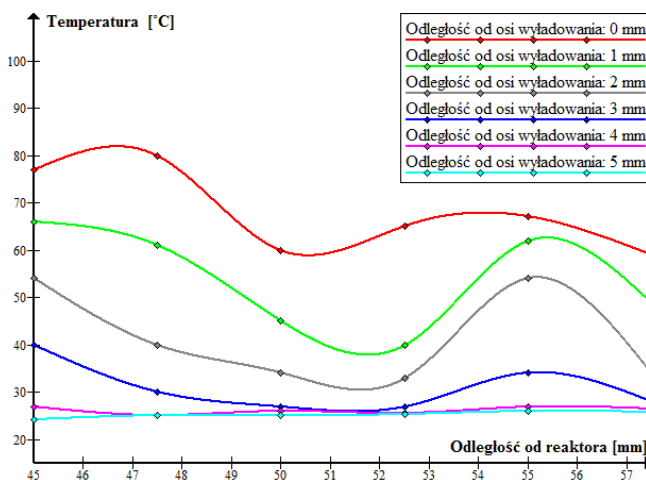
Rys. 5. Temperatura gazu poddanego obróbce plazmowej w reaktorze RF dla różnych odległości od reaktora i osi symetrii wyladowania, przy stałej wartości mocy i przepływu gazów procesowych

Pomiary przeprowadzono dla stałej wartości przepływu gazów roboczych (hel – 3,6 l/min, tlen – 2,45 l/min) i mocy układu zasilającego (40 W), dla różnych odległości od końca reaktora i jego głównej osi symetrii.

Uzyskane wyniki nie pozwalają na stwierdzenie prostej zależności, w której temperatura gazu maleje proporcjonalnie wraz ze wzrostem odległości od reaktora. W odległości 20 mm widać wzrost temperatury w odległościach bliskich osi symetrii reaktora, a stosunkowo duży spadek temperatury dla zewnętrznej części strumienia gazu. W odległości 25 mm mamy do czynienia z sytuacją odwrotną, a dla większych odległości temperatura strumienia staje się podobna dla całej powierzchni prostopadłej do kierunku

przepływu gazu. Świadczy to silnym wpływie sił gazodynamicznych, zależnych od prędkości przepływu gazu, geometrii reaktora oraz ruchów konwekcyjnych.

Podobne zjawiska zaobserwowano przy pomiarze temperatury gazu wylotowego w reaktorze DBD przy stałej wartości przepływu (czysty hel – 0,03 l/min), co przedstawia rysunek 6.

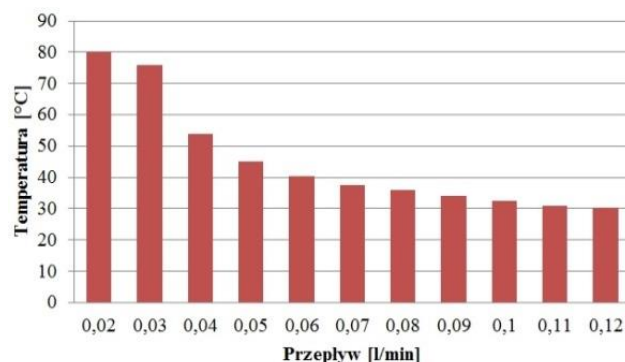


Rys. 6. Temperatura gazu poddanego obróbce plazmowej w reaktorze DBD dla różnych odległości od reaktora i osi symetrii wyladowania, przy stałej wartości mocy i przepływu gazów procesowych

Ze względu na stosunkowo małą średnicę wewnętrzną dyszy (1,5 mm), wpływ sił gazodynamicznych na rozkład temperatury jest jeszcze większy niż w przypadku reaktora RF (średnica 8 mm). Może mieć to znaczenie przy operacjach na małych obiektach, wokół których znajduje się wolna przestrzeń (tak jak to miało miejsce przy termoparze, która tylko w niewielki sposób wpływała na przepływ gazu). Zjawisko to może być jednak prawdopodobnie pominięte w przypadku operacji na obiektach o dużej powierzchni, które ograniczą wpływ rozchodzenia się gazu na zewnątrz strumienia.

Jak pokazują wyniki uzyskane dla reaktora DBD, jednym z najistotniejszych czynników wpływających na temperaturę gazu jest wartość przepływu masowego gazu (rys. 7). Pod wpływem zwiększania masy poddanego obróbce gazu przy równoczesnym zachowaniu tej samej mocy układu zasilającego, energia przypadająca na jednostkę objętości jest coraz mniejsza i strumień gazu osiąga coraz niższe wartości temperatury. Regulacja temperatury poprzez wartość przepływu gazu jest jednak ograniczona jakością wyladowania, które dla skrajnie małych i dużych przepływów może całkowicie zaniknąć.

Innym czynnikiem wpływającym w dużym stopniu na temperaturę jest skład gazu procesowego. Ma on bezpośredni wpływ na jakość i kształt wyladowania, co przekłada się na rozkład temperatury gazu wyjściowego. Dla przykładu w reaktorze DBD dla przepływu 0,04 l/min, dla proporcji helu i tlenu 1:1 uzyskano temperaturę 60°C, zaś dla tych samych warunków przy proporcjach 3:1 – temperaturę o 10°C niższą.



Rys. 7. Zależność pomiędzy temperaturą gazu a wartością przepływu masowego gazu

3. Wnioski

Każda z opisanych metod pomiaru temperatury, po uwzględnieniu charakterystycznych dla plazmy zjawisk, może być wykorzystana do diagnostyki plazmy wytwarzanej w reaktorach typu jet. W medycynie i inżynierii środowiska, gdzie mamy najczęściej do czynienia z plazmą nierównowagową, każda z tych metod pozwala na wyznaczenie temperatury innych rodzajów cząstek, w związku z czym w diagnostyce są one często wykorzystywane równocześnie. Jak pokazują wyniki otrzymane dla pomiarów temperatury za pomocą termopary, oprócz zjawisk typowych dla plazmy, istotną rolę odgrywają czynniki gazodynamiczne związane z budową reaktorów typu jet. W celu określenia wpływu temperatury plazmy na badany obiekt, niezbędne jest więc uwzględnienie roli wartości przepływu gazu, jego składu oraz geometrii samego reaktora, które mają wpływ na rozkład temperatury w badanym układzie.

Literatura

- [1] Bobrowski Cz.: Fizyka – krótki kurs. WNT, Warszawa 1998.
- [2] Celiński Z.: Plazma. PWN, Warszawa 1980.
- [3] Diatczyk J., Stryczewska H. D., Komarzyniec G.: Modeling of the Temperature Distribution in Arc Discharge Plasma Reactor, *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, Vol. 9, no 2, July 31, 2006, 174–177.
- [4] Jang H., Cho M. H., Namkung W., Lee J. M., Suk H., Hur M. S.: A method to measure the electron temperature and density of a laser-produced plasma by Raman scattering. *Applied Physics Letters*. 8/18/2008, Vol. 93, Issue 7.
- [5] Kim J. Y., Kim S.-O., Ballato J.: Intense and Energetic Atmospheric Pressure Plasma Jet Arrays. *Plasma Processes and Polymers*, March 2012, 253–260.
- [6] Kołaciński Z., Szymański Ł., Raniszewski G.: Arc Plasma for Materials Detoxification and their Conversion, *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, Volume 13, Number 1, January 2010, 89–98.
- [7] Knoerzer K., Murphy A., Fresewinkel M., Sanguansri P., Coventry J.: Evaluation of methods for determining food surface temperature in the presence of low-pressure cool plasma. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 15, 2012, 23–30.
- [8] Mahmood S., Shaikh Nek M., Kalyar M. A., Rafiq M., Piracha N. K., Baig M. A.: Measurements of electron density, temperature and photoionization cross sections of the excited states of neon in a discharge plasma. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 110 (17), 2009, 1840–1850.
- [9] Milek M.: Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi. Zielona Góra 1998.
- [10] Pawlat J.: Atmospheric pressure plasma jet for decontamination purposes, *Eur. Phys. J. Appl. Phys* 61, 2013, 24323.
- [11] Pawlat J.: Atmospheric pressure plasma jet for sterilization of heat sensitive surfaces, *Przegląd Elektrotechniczny*, 10b, 2012, 139–140.
- [12] Pawlat J., Samoń R., Stryczewska H. D., Diatczyk J., Giżewski T.: RF-powered atmospheric pressure plasma jet for surface treatment, *The European Physical Journal Applied Physics*, 61, 2013, 24322.
- [13] Pawlat J., Stryczewska H. D., Ebihara K.: Sterilization techniques for soil remediation and agriculture based on ozone and AOP, *Journal of Advanced Oxidation Technologies* 13 (2), 2010, 138–145.
- [14] Stryczewska H. D.: Technologie plazmowe w energetyce i inżynierii środowiska. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009.
- [15] Stryczewska H. D., Diatczyk J., Pawlat J.: Temperature distribution in the gliding arc discharge chamber, *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, Volume 14, Number 2, July 2011, 276–281.
- [16] Weltmann K. D., Kindel E., von Woedtke T., Hahnel M., Stieber M., Brandenburg R.: Atmospheric-pressure plasma sources: Prospective tools for plasma medicine. *Pure and Applied Chemistry*, 82 (6), 2010, 1223–1237.
- [17] www.aglient.com

Mgr inż. Piotr Terebun

e-mail: piotr.terebun@gmail.com

Mgr inż. Piotr Terebun jest absolwentem Politechniki Lubelskiej na kierunkach Elektrotechnika oraz Fizyka Techniczna. Od 2012 roku, jako doktorant Politechniki Lubelskiej w dyscyplinie elektrotechnika, zajmuje się zagadnieniami fizyki plazmy w Instytucie Elektrotechniki i Elektrotechnologii. Jego zainteresowania naukowe obejmują technologie plazmowe w ochronie środowiska i medycynie, odnawialne źródła energii oraz modelowanie numeryczne.



Mgr inż. Piotr Krupski

e-mail: piotr-jl@o2.pl

Mgr inż. Piotr Krupski jest absolwentem fizyki technicznej oraz elektrotechniki na Politechnice Lubelskiej, specjalność odnawialne źródła energii. Obecnie doktorant w dyscyplinie naukowej elektrotechnika na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Nauczyciel przedmiotów elektrotechnicznych i związanych z energetyką odnawialną w Zespole Szkół Energetycznych im. prof. Kazimierza Drewnowskiego w Lublinie. Jego zainteresowania naukowe obejmują fizykę plazmy nierównowagowej a także analizę układów zasilania niewielkich generatorów plazmy niskotemperaturowej.



Mgr inż. Michał Kwiatkowski

e-mail: m.kwiatkowski@pollub.pl

W roku 2011 ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej, gdzie w roku 2011 rozpoczął pracę na stanowisku starszy referent techniczny. W 2012 roku został przyjęty na pierwszy rok studiów doktoranckich na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.



Mgr inż. Radosław Samoń

e-mail: radzio64@vp.pl

Mgr inż. Radosław Samoń – urodzony w 1981 roku w Lublinie, w 2007 r. ukończył studia na Politechnice Lubelskiej, gdzie w 2008 r. rozpoczął studia doktoranckie. Tematyka jego rozprawy doktorskiej obejmuje wykorzystanie technologii plazmowych dla potrzeb ochrony środowiska. Od 2012 roku jest audytorem energetycznym.



Dr inż. Jarosław Diatczyk

e-mail: j.diatczyk@pollub.pl

Tytuł magistra inżyniera uzyskał w 2002 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej. Po ukończeniu studiów doktoranckich na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej uzyskał w 2009 roku tytuł doktora nauk technicznych. Od 2003 roku pracuje na Politechnice Lubelskiej na stanowisku asystenta, a od 2010 roku – adiunkta. Prowadzi zajęcia dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki, na studiach podyplomowych oraz na kierunkach międzywydziałowych.



Dr hab. inż. Joanna Pawlat

e-mail: askmik@hotmail.com

Dr hab. inż. Joanna Pawlat jest absolwentką Politechniki Lubelskiej i Saga University w Japonii. Pracowała w Waseda University (2004–2010), Hi-Tech Center przy Chuo University w Japonii (2001–2002). W latach 2002–2004 była stypendystką JSPS na Uniwersytecie Saga przy współpracy z Toyohashi Technical University w Japonii. Obecnie jest profesorem na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.



Prof. dr hab. inż. Henryka Danuta Stryczewska

e-mail: h.stryczewska@pollub.pl

Ukończyła Wydział Elektryczny Politechniki Lubelskiej. Tytuł profesora uzyskała w 2010 r. W latach 2003–2004 pracowała jako profesor wizytujący w Laboratorium Przemian Energii Uniwersytetu Kumamoto w Japonii, zajmując się m.in. plazmową sterylizacją gleby. Obecnie pełni funkcję dziekana na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej oraz kieruje Instytutem Elektrotechniki i Elektrotechnologii.



otrzymano/received: 24.03.2014

przyjęto do druku/accepted: 05.07.2015